



Aachener Institut für Bauschadens-  
forschung und angewandte Bauphysik



Fachverband Luftdichtheit  
im Bauwesen e.V.



Fraunhofer  
Institut  
Bauphysik

# Zwischenbericht

zu dem mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau  
des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumfor-  
schung geförderten Forschungsprojektes

## **Bewertung von Fehlstellen in Luftdichtheits- ebenen - Handlungsempfehlung für Bau- praktiker**

Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-14.20

30. September 2015



---

Förderer:

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Forschungsinitiative Zukunft Bau, Referat II 3, Deichmanns Aue 31-37, 53179 Bonn (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

---

Antragsteller und Zuwendungsempfänger:

Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V., Berlin

Aktenzeichen:

SWD-10.08.18.7-14.20

---

Forschungsthema:

Bewertung von Fehlstellen in Luftdichtheitsebenen – Handlungsempfehlung für Baupraktiker

Kurztitel: Bewertung von Luft-Leckagen

---

Bewilligungszeitraum:

20.10.2014 – 20.10.2016

Berichtszeitraum:

20.10.2014 – 30.09.2015

---

Durchführende Institutionen:

Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V., Kekuléstraße 2-4, 12489 Berlin (FLiB e.V.)

in Kooperation mit

Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik gGmbH, Theresienstraße 19, 52072 Aachen (AIBAU gGmbH)

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Fraunhoferstraße 10, 83626 Valley (Fraunhofer IBP)

---

Projektleiter:

Dr. Klaus Vogel (FLiB e.V.)

---

Bearbeiter/Institution

Dr.-Ing. Gunnar Grün (Fraunhofer IBP)

Dr.-Ing. Victor Norrefeldt (Fraunhofer IBP)

Dipl.-Ing. Silke Sous (AIBAU gGmbH)

Dr. Klaus Vogel (FLiB e.V.)

Dipl.-Ing. Matthias Zöllner (AIBAU gGmbH)

---

Fachliche Betreuung BBSR

Dipl.-Ing. Steffen Kisseler

---

Fremdmittel

Das Forschungsprojekt wird finanziell unterstützt von Moll bauökologische Produkte GmbH (D-Schwetzingen), BlowerDoor GmbH (D-Springe) und ISOCELL GmbH (A-Neumarkt am Wallersee).

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	4
<b>2. Arbeitspakete</b> .....	4
<b>3. Vorläufige Ergebnisse</b> .....	4
3.1 Sichtung bisheriger Untersuchungen.....	4
3.2 Auswertung von Workshops.....	5
3.3 Leckagesystematik.....	10
3.4 Befragung.....	12
3.5 Werkzeuge der Simulation.....	16
<b>4. Literaturverzeichnis</b> .....	17

## **1. Einleitung**

Mit steigenden Anforderungen an z.B. den Wärme- und Feuchteschutz sowie Bemühungen beim energiesparenden Bauen wurden Spezialbaustoffe und messtechnische Ausrüstungen entwickelt. Seit etwa zwei Jahrzehnten haben Messungen zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden, häufig als „Luftdichtheitsmessungen“ oder „Blower-Door-Messungen“ bezeichnet, im Baugeschehen Einzug gehalten und dürfen mittlerweile als etabliert angesehen werden. Diese Messungen bzw. Untersuchungen sind untrennbar mit der Suche und der Beurteilung bzw. Bewertung von Luft-Leckagen verbunden.

Luft-Leckagen sind vielfältig und deren Suche sowie Bewertung z.T. äußerst aufwendig und komplex. Bisher fehlen der Baupraxis nachvollziehbare, allgemein akzeptierte und handhabbare Kriterien im Umgang mit Luft-Leckagen. Dies führt immer wieder zu Diskussionen zwischen den am Bau Beteiligten, die auch in Rechtsstreitigkeiten enden. Aus diesem Grund wurde das Forschungsprojekt „Bewertung von Fehlstellen in Luftdichtheitsebenen“ initiiert, in dem sich schwerpunktmäßig mit Erfahrungen und Schadensfällen aus der Praxis beschäftigt wird. Ziel ist es, eine Handlungsempfehlung für Baupraktiker im Umgang mit Leckagen zu erarbeiten.

## **2. Arbeitspakete**

Das auf zwei Jahre angelegte Forschungsprojekt umfasst im Wesentlichen folgende Arbeitspakete:

- Sichtung bisheriger Untersuchungen
- Auswertung von Workshops
- Befragung von Sachverständigen und Messdienstleistern
- Dokumentation von typischen Luft-Leckagen und Schadensfällen
- hygrothermische Leckagesimulation
- Schlussfolgerungen mit Berichtserstellung

## **3. Vorläufige Ergebnisse**

### **3.1 Sichtung bisheriger Untersuchungen**

Das Schrifttum enthält eine Vielzahl an Berichten und Artikeln, die sich mit dem Themenbereich Luftdichtheit bzw. Luftdurchlässigkeit beschäftigen. Deren Sichtung und Auswertung wird im Laufe des Projektes weiter betrieben.

Insbesondere gut und schon seit langem beschrieben sind die verschiedenen Wirkungsweisen von Luft-Leckagen. Es werden häufig energetische und feuchtetechnische Aspekte angeführt (z.B. [1], [2], [3]). Darüber hinaus werden u.a. auch Wirkungsweisen in Bezug auf die Behaglichkeit (z.B. [4]) und die Effizienz von Lüftungstechnischen Einrichtungen thematisiert (z.B. [5]). Praktisch lassen sich aus allen Gründen für luftdichtes Bauen Wirkungsweisen von Leckagen ableiten. Als besonders anspruchsvoll für eine Beurteilung sind der Schallschutz (z.B. [6]) und die Übertragung unerwünschter Substanzen (z.B. [7]) anzusehen, da hier auch kleinste Leckagen negative Wirkungen entfalten können.

### 3.2 Auswertung von Workshops

Der Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V. hat in den letzten Jahren verschiedene Workshops und Webinare zum Thema Leckagen durchgeführt. Nachfolgend wird auf den im April 2013 in Fulda durchgeführten Workshop mit dem Thema Leckagebewertung eingegangen, an dem 43 Personen teilnahmen. „Ziel war es, einen aktuellen Stand zur Bewertung von Leckagen zu erhalten, um damit Aufklärung betreiben und Hilfestellungen bei der Bewertung von Leckagen geben zu können.“ Die „TeilnehmerInnen hatten die Aufgabe, 14 Leckagen in einem Gebäude bei einem konstanten Unterdruck von 50 Pa nach einem vorgegebenen Schema zu bewerten - Abbildung 1. Ferner wurden allgemeine Fragen zur Leckageortung und Bewertung gestellt. Jede/r TeilnehmerIn erhielt einen eigenen, anonymisierten Fragebogen zur Bearbeitung und durfte die Hilfsmittel zur Beurteilung von Leckagen (z.B. Thermoanemometer, Thermografiekamera) frei wählen und einsetzen“ – [8]. An dieser Stelle sollen zwei Leckagen näher betrachtet werden: eine Kellertürschwelle und Steckdosen.

#### Kellertürschwelle

In dem zur Verfügung stehenden Gebäude gab es nicht so viele unterschiedliche Leckagen. Deshalb wurden auch künstlich erzeugte Undichtigkeiten im Workshop betrachtet. Hierzu gehörte ein Spalt, der eine Kellertürschwelle darstellte – Abbildung 2. Diese Leckage ist ein Beispiel dafür, wie relativ einheitlich die Bewertung einer Leckage erfolgen kann. Nach Abbildung 3 sieht ein Großteil der TeilnehmerInnen diese Leckage als eine große Leckage im Sinne der DIN EN 13829<sup>1</sup> [9] an.

---

<sup>1</sup> Nach [9] „...ist die gesamte Gebäudehülle auf große Leckagen...zu untersuchen. Wenn solche Leckagen gefunden werden, sind sie genau zu protokollieren.“

Wie aus Abbildung 4 zu entnehmen ist, wird sie im Hinblick auf die Wirkungsweisen „Energieverluste“, „Behaglichkeit“ und „Beeinträchtigung der Lüftungsanlage“ eher im kritischen Bereich angesiedelt.

Nr:	Leckage (z.B. Steckdose)	Raum (z.B. Küche)	WE-Nr.	Geschoss				
Ist die Leckage eine „große“ Leckage im Sinne der DIN EN 13829 <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein								
<b>Bewertung der Leckage</b> (Bitte ein Kästchen pro Zeile ankreuzen)		<b>unkritisch</b> - - - - - <b>kritisch</b>				<b>nicht be- wertbar<sup>1</sup></b>		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>		<b>5</b>	<b>6</b>
• Energieverluste		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Feuchteintrag in Konstruktion		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Behaglichkeit		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Beeinträchtigung der Lüftungsanlage		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<sup>1</sup> Nicht bewertbar, da: .....								

Abbildung 1: Schema zur Bewertung von Leckagen bei dem FLiB-Workshop im April 2013 – [8].



Abbildung 2: Künstlich geschaffene Undichtigkeit (1), die eine Kellertürschwelle darstellte. Der Volumenstrom durch die Leckage bei 50 Pa, ca. 35 m<sup>3</sup>/h, war den TeilnehmerInnen nicht bekannt – [8].

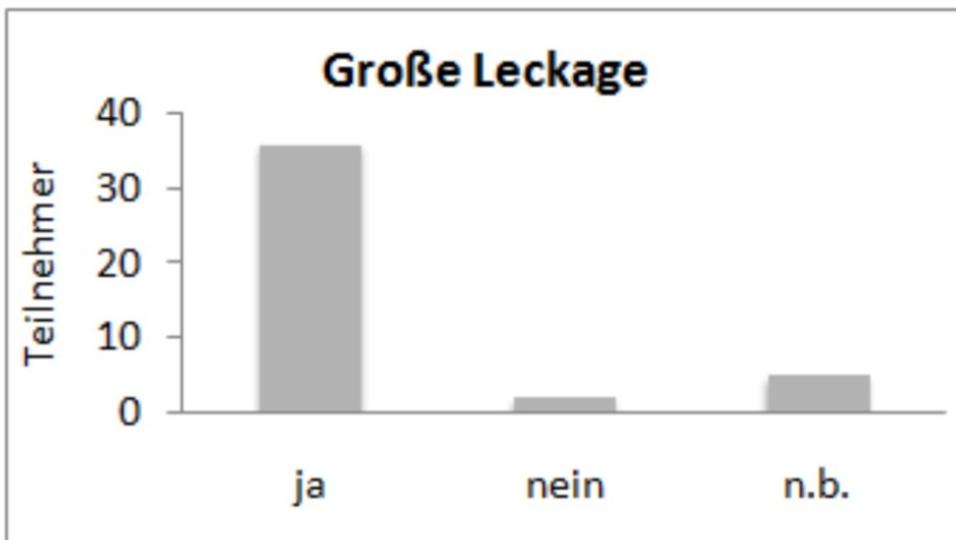


Abbildung 3: Antworten auf die Frage, ob die Luftströmung an der Kellertürschwelle eine große Leckage im Sinne der DIN EN 13829 [9] sei (n.b. = nicht bewertet) – [8].

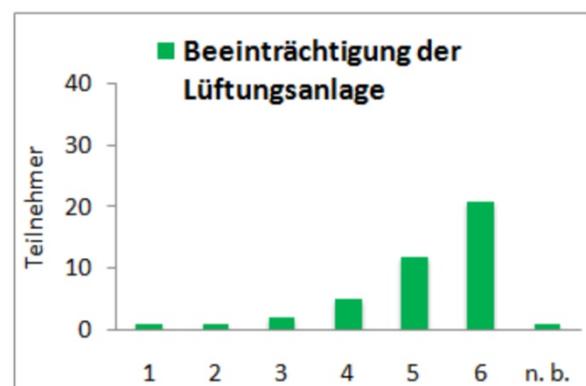
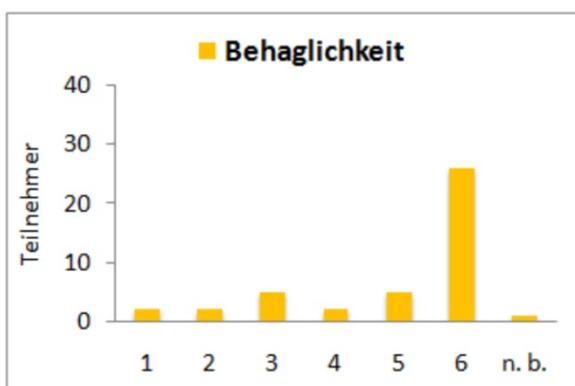
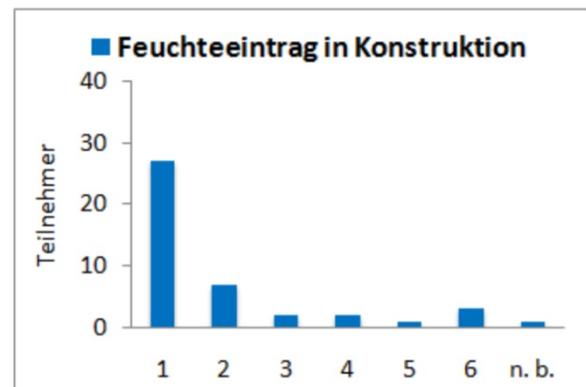
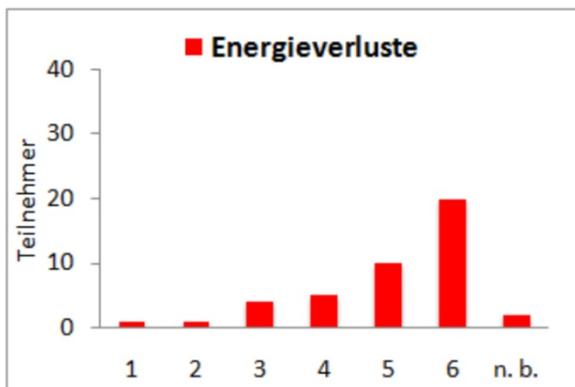


Abbildung 4: Bewertungen der Kellertürschwelle im Hinblick auf unterschiedliche Wirkungsweisen einer Leckage (1 = unkritisch, 6 = kritisch, n.b. = nicht bewertet) – [8].

### Steckdosen

Die beiden Steckdosen in einer Außenwand in Holzbauweise befanden sich im Obergeschoss – Abbildung 5.

Der Abbildung 6 kann entnommen werden, dass die Mehrheit der TeilnehmerInnen diese Leckage als eine kleine Leckage im Sinne der DIN EN 13829 ansieht. Im Hinblick auf die verschiedenen Wirkungsweisen einer Leckage ist das Meinungsbild nicht mehr so deutlich zu fassen wie beispielsweise bei der Kellertürschwelle - Abbildung 7.



Abbildung 5: Steckdosen in einer Außenwand in Holzbauweise im 1. Obergeschoss. Der Volumenstrom durch die Leckage bei 50 Pa, ca. 1 m<sup>3</sup>/h, war den TeilnehmerInnen nicht bekannt – [8].

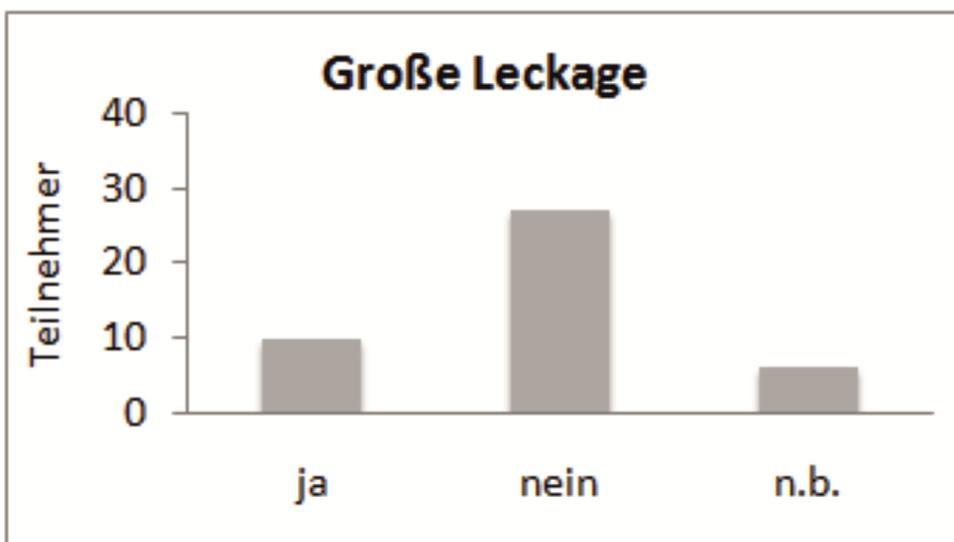


Abbildung 6: Antworten auf die Frage, ob die Luftströmung an den Steckdosen im 1. Obergeschoss eine große Leckage im Sinne der DIN EN 13829 sei (n.b. = nicht bewertet) – [8].

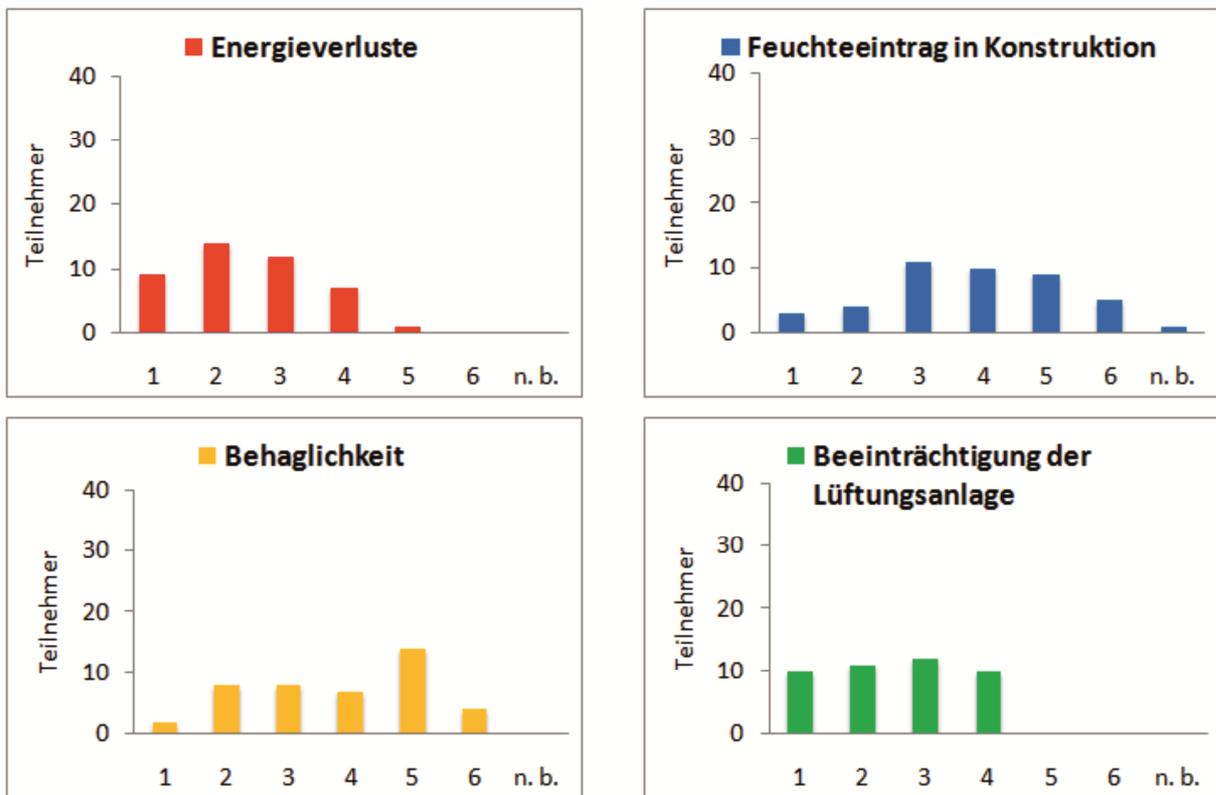


Abbildung 7: Bewertungen der Steckdosen im Hinblick auf unterschiedliche Wirkungsweisen einer Leckage (1 = unkritisch, 6 = kritisch, n.b. = nicht bewertet) – [8].

Dieser Workshop dürfte in seiner inhaltlichen Ausrichtung sehr wahrscheinlich einzigartig gewesen sein und hat ein paar interessante Aspekte:

Jedem/r TeilnehmerIn bot sich die Chance, dieselben Leckagen zu bewerten. Es wurde keine „Musterlösung“ angeboten. Jedoch konnte das individuelle Bewertungsergebnis mit den Ergebnissen der Gruppe abgeglichen werden. Ferner bot der anschließende Austausch mit KollegInnen die Gelegenheit, um die eigene Bewertungspraxis zu bestätigen oder zu korrigieren. Die Ergebnisse zeigen, dass teilweise die Wirkungsweisen mancher Leckagen relativ einheitlich bewertet wurden. Die Erfahrungen aus diesem Workshop waren letztlich der entscheidende Anstoß, das hier beschriebene Forschungsprojekt zu initiieren.

### 3.3 Leckagesystematik

Die vielfältigen Parameter, die zumindest theoretisch bei einer Handlungsempfehlung in Betracht zu ziehen sind, werden in einer vorläufigen Leckagesystematik zusammengefasst.

Hierbei sind die Luft-Leckagen wie folgt definiert:

1. Definition im weiteren Sinne

Für Luft passierbare Stellen/passierbare Bereiche in der Gebäudehülle.

2. Definition im engeren Sinne

Fehlstellen in der Luftdichtheitsebene/Luftdichtheitsschicht mit einem Luft-Massenstrom.

Die Gliederung der Parameter erfolgt über verschiedene Stufen von der Makrobetrachtung bis hin zur Mikrobetrachtung – Abbildung 8.

Zur Makrobetrachtung gehören beispielsweise Fragen nach der Funktion des Gebäudes und dessen geografisch-klimatischen Lage - Abbildung 9. Bei der Mikrobetrachtung werden einzelne Leckagen beispielsweise daraufhin angesprochen, ob es sich im Hinblick auf eine bestimmte Wirkungsweise um primäre oder sekundäre Leckagen handelt - Abbildung 10. Ferner sind auch juristische Aspekte mit den Fragen berücksichtigt, welche Ausführungen erwartet werden dürfen bzw. welche Technikregeln zum Tragen kommen - Abbildung 11.



Abbildung 8: Parameter der Leckagebewertung/Leckagebeurteilung.

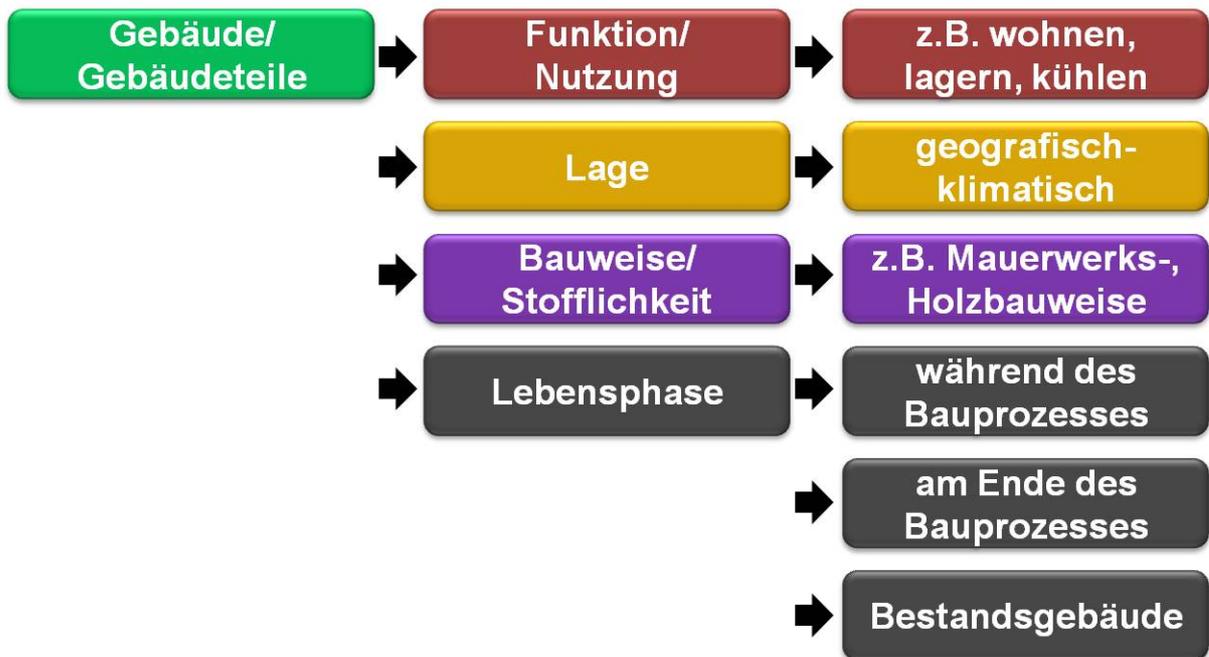


Abbildung 9: Parameter der Leckagebewertung/Leckagebeurteilung – Teil 1 (Makro-betrachtung).

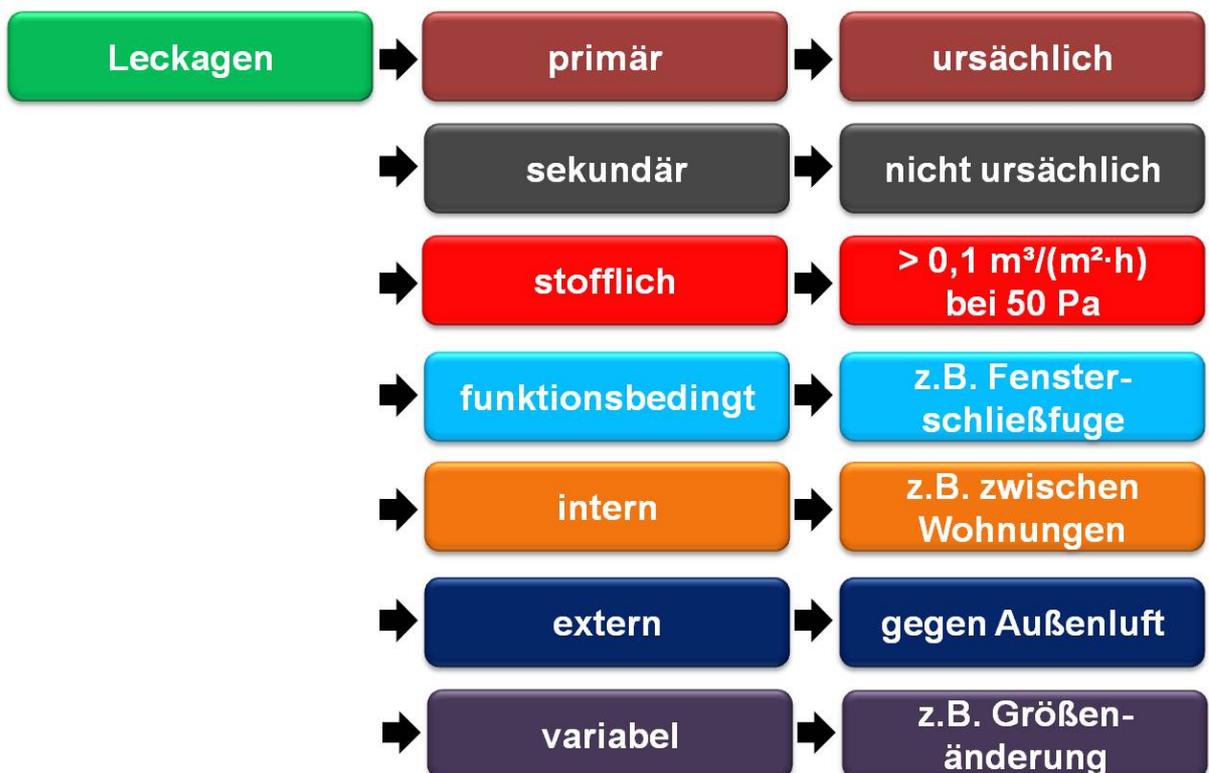


Abbildung 10: Parameter der Leckagebewertung/Leckagebeurteilung – Teil 5 (Einzel-ansprache von Leckagen – Mikrobetrachtung 1).



Abbildung 11: Parameter der Leckagebewertung/Leckagebeurteilung – Teil 5 (Einzelsprache von Leckagen – Mikrobetrachtung 2).

### 3.4 Befragung

Zentraler Kern des Forschungsprojektes stellt die Befragung von Sachverständigen und Messdienstleistern dar. Ende März 2015 wurden hierfür Fragebögen an rund 2.000 Personen versendet und ferner weitere Personenkreise unter anderem im Rahmen von Projektvorstellungen um Mitwirkung gebeten (z.B. [10], [11], [12]).

Der Fragebogen ist derart konzipiert, dass er von den Befragten mit einem möglichst geringen Arbeitsaufwand ausgefüllt werden kann. Wie aus Abbildung 12 ersichtlich, sind die Fragen auf den konkreten Erfahrungsschatz der jeweiligen Befragten ausgerichtet. Hierbei werden sowohl positive als auch negative Erfahrungen mit Leckagen abgefragt. Eine sehr wichtige Informationsquelle für die weiteren Arbeiten im Projekt sind die konkret genannten Objekte, die im Nachgang einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

Die Befragung dauert noch an. Mittlerweile liegen rund 90 Fragebögen vor, die anonymisiert der Auswertung zugeführt werden.

<p><b>1. Tätigkeitsfeld:</b></p> <p>1.1 Ich bin seit <input type="text"/> Jahren überwiegend als <input type="checkbox"/> Sachverständiger <input type="checkbox"/> Messdienstleister tätig.</p> <p>1.2 In meiner überwiegenden Tätigkeit nach 1.1 hatte ich zum Thema Luftdichtheit von Gebäuden in den letzten maximal zehn Jahren ca. <input type="text"/> Objekte zu beurteilen.</p> <p>1.3 Dabei handelte es sich überwiegend um Objekte  <input type="checkbox"/> während des Bauprozesses <input type="checkbox"/> am Ende des Bauprozesses (EB) <input type="checkbox"/> im Neubau (EB-5 Jahre) <input type="checkbox"/> im Bestand (&gt; 5 Jahre)</p>
<p><b>2. Angabe positiver Erfahrungen:</b></p> <p>2.1 Bei der unter 1.2 genannten Objektanzahl sind ca. <input type="text"/> Objekte enthalten, bei denen keine Schäden / Beeinträchtigungen aufgetreten sind, obwohl Luft-Leckagen vorliegen / vorlagen.</p> <p>2.2 Welches Alter weisen / wiesen diese Gebäude auf? ca. <input type="text"/> bis <input type="text"/> Jahre</p> <p>2.3 Welche Arten von Leckagen wurden dort überwiegend festgestellt? (ggf. Zusatzblatt) _____</p> <p>2.4 Welche Randbedingungen waren Ihrer Meinung nach gegeben, dass die unter 2.3 genannten Luft-Leckagen keine Schäden / Beeinträchtigungen hervorgerufen haben? (ggf. Zusatzblatt) _____</p>
<p><b>3. Angabe negativer Erfahrungen:</b></p> <p>3.1 Bei der unter 1.2 genannten Objektanzahl sind ca. <input type="text"/> Objekte enthalten, bei denen Schäden / Beeinträchtigungen aufgetreten sind, die auf Luft-Leckagen zurückzuführen sind / waren.</p> <p>3.2 Welche Arten von Leckagen wurden dort festgestellt? (ggf. Zusatzblatt) _____</p> <p>3.3 Worauf ließen sich die hauptsächlichen Leckagen / Mängel in der Luftdichtheitsebene nach Ihrer Einschätzung zurückführen?  <input type="checkbox"/> unzureichende Planung <input type="checkbox"/> Machbarkeitsproblem <input type="checkbox"/> Ausführungsfehler <input type="checkbox"/> Beschädigung durch den Nutzer <input type="checkbox"/> unbekannt  <input type="checkbox"/> Sonstiges (ggf. Zusatzblatt) _____</p> <p>3.4 Welche Schäden / Beeinträchtigungen lagen schwerpunktmäßig vor?  <input type="checkbox"/> Feuchteintrag in die Konstruktion / Bauschaden <input type="checkbox"/> Energieverluste <input type="checkbox"/> Beeinträchtigung der Behaglichkeit  <input type="checkbox"/> Sonstiges (ggf. Zusatzblatt) _____</p> <p>3.5 In welchem Zeitraum traten die Schäden / Beeinträchtigungen besonders häufig auf?  <input type="checkbox"/> innerhalb des ersten Jahres nach der Herstellung <input type="checkbox"/> nach 1 - 5 Jahren <input type="checkbox"/> nach mehr als 5 Jahren</p> <p><b>3.6 Ich kann meine negativen Erfahrungen mit Luft-Leckagen an nachfolgend genannten konkreten Objekten erläutern:</b></p>

Abbildung 12: Fragebogen für Sachverständige und Messdienstleister Ende März 2015 (Auszug).

Der vorläufigen Auswertung (Stand 23. Juni 2015, 1. Arbeitsgruppensitzung) liegen 64 Antworten zugrunde. Ein Großteil der eingegangenen Fragebögen entfällt dabei auf die Gruppe der Sachverständigen - Abbildung 13.

Im Hinblick auf die Anzahl der zu beurteilenden Objekte gibt es deutliche quantitative Unterschiede. Die meisten Personen hatten sich in den letzten 10 Jahren an bis zu 10 Objekten mit dem Thema Luftdichtheit zu beschäftigen. Rund 20 % der mitwirkenden Personen geben an, dass Sie sich mit mehr als 100 Objekten auseinandersetzten - Abbildung 14.

Diese hohe Objektanzahl wird überwiegend von Messdienstleistern angegeben, die relativ früh in der Lebensphase eines Gebäudes, beispielsweise im Rahmen baubegleitender Untersuchungen oder im Rahmen von Schlussmessungen für die Energieeinsparverordnung, tätig werden.

Bei den zu beurteilenden Objekten handelt es sich überwiegend um Gebäude mit einem Alter von bis zu 5 Jahren - Abbildung 15.

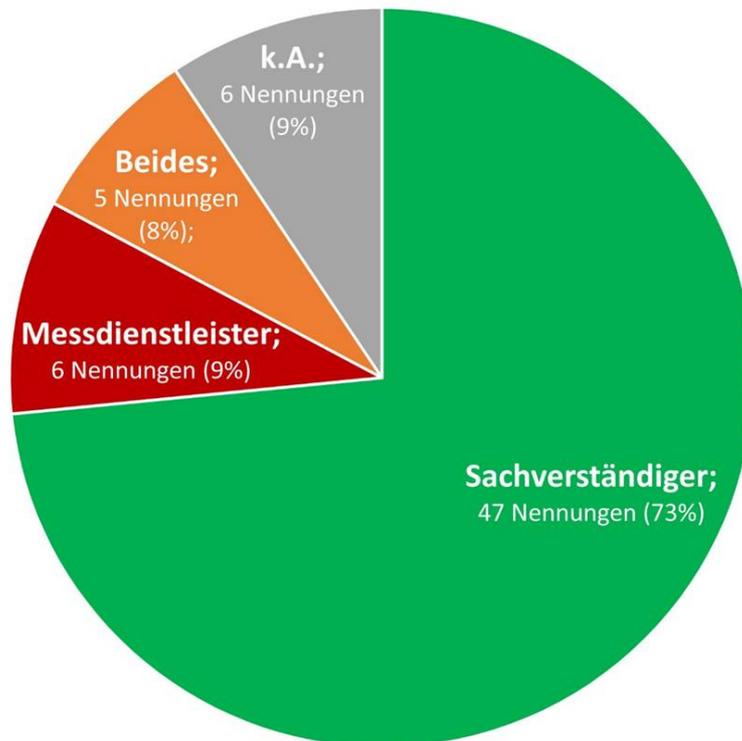


Abbildung 13: Eingegangene Fragebögen und deren Verteilung auf Sachverständige und Messdienstleister (Stand: 23. Juni 2015).

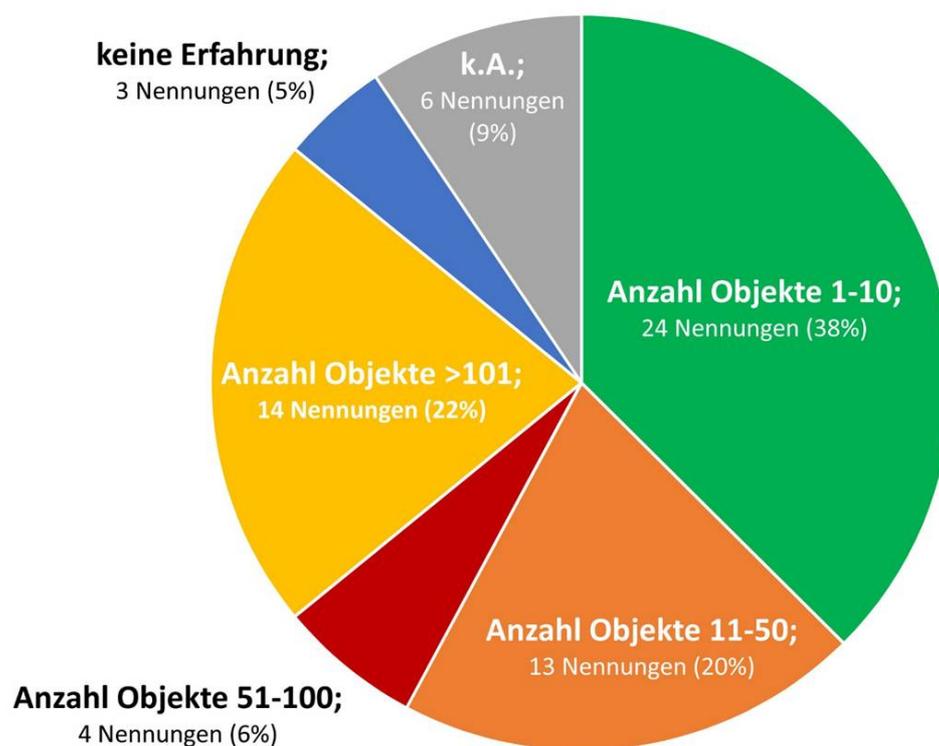


Abbildung 14: Anzahl genannter Objekte pro Person, die in den letzten 10 Jahren im Hinblick auf das Thema Luftdichtheit zu beurteilen waren (Stand: 23. Juni 2015).

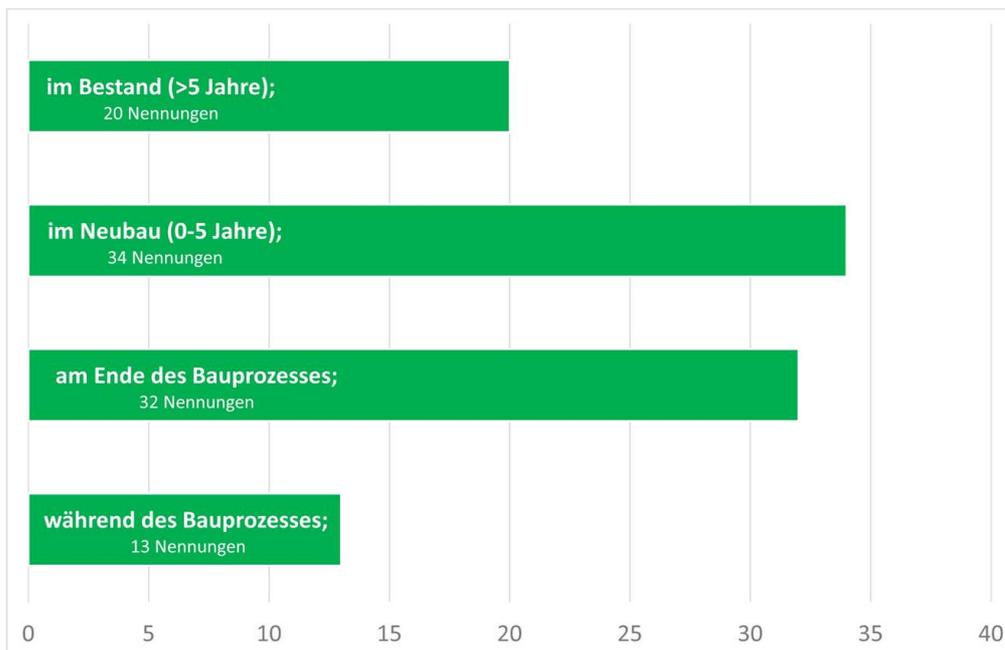


Abbildung 15: Untersuchungszeitpunkt der Objekte – Mehrfachnennungen möglich (Stand: 23. Juni 2015).

Wenn es zu Schäden bzw. Beeinträchtigungen durch Leckagen gekommen ist, dann werden überwiegend Folienverklebungen und Übergänge von Bauteilen sowie nicht näher spezifizierte „allgemein handwerkliche Mängel“ genannt – Abbildung 16.

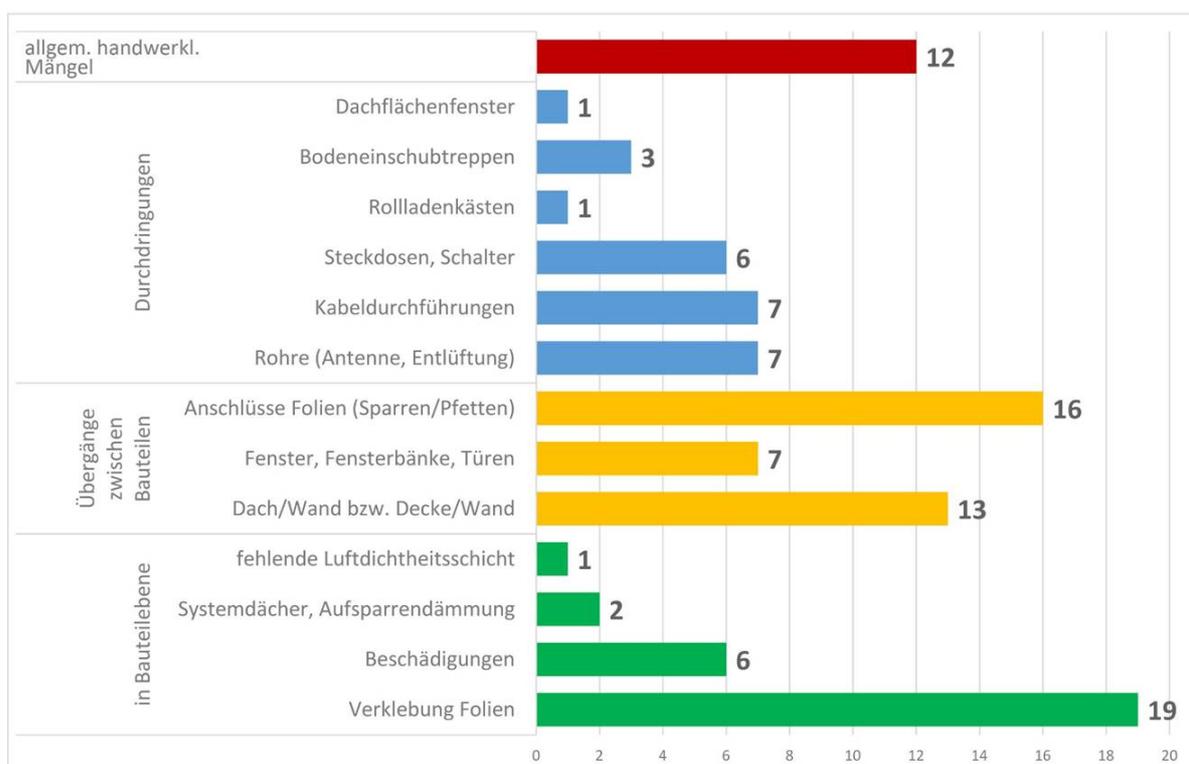


Abbildung 16: Arten der Leckagen, die zu Schäden bzw. Beeinträchtigungen führten – Mehrfachnennungen möglich (Stand: 23. Juni 2015).

### 3.5 Werkzeuge der Simulation

Es wurde damit begonnen, die am Fraunhofer IBP entwickelten Modelica-Simulationscodes mit Hinblick auf die Bewertung von Luft-Leckagen anzupassen. Um die Komfort-Relevanz einer Luft-Leckage zu bewerten wird das zonale Modell VEPZO benutzt [13]. Zonale Modelle unterteilen den Raum in typischerweise 10 bis 100 kubische Luftzonen, die miteinander im Luftaustausch stehen. Hierdurch kann die Auswirkung der Lage und Intensität von Luft-Leckagen bezüglich der Behaglichkeit und der energetischen Relevanz bewertet werden - Abbildung 17.

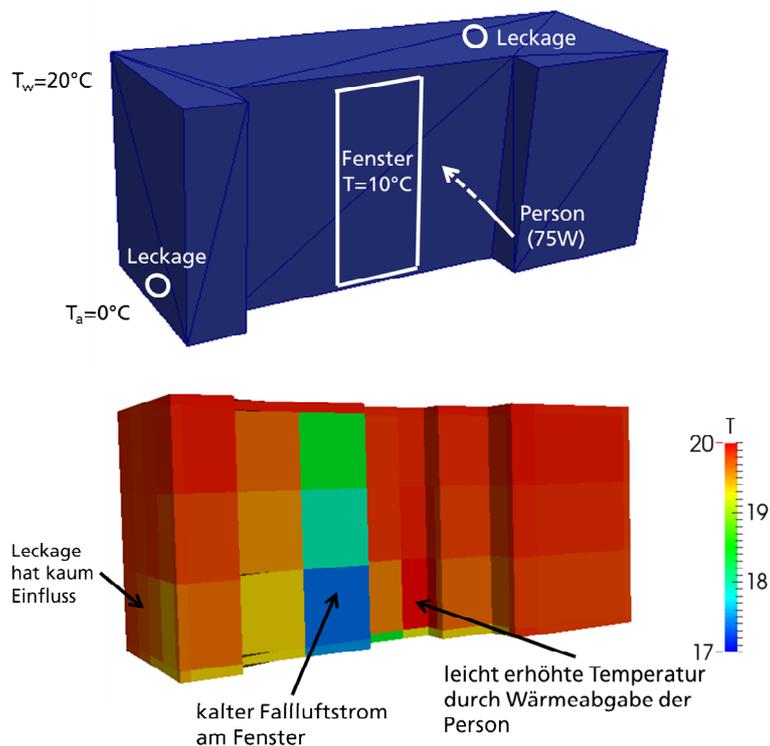


Abbildung 17: Beispiel der Bewertung einer Leckage mittels des VEPZO-Modells. Oben: Raumgeometrie und Simulationsrandbedingungen, Unten: Simulationsergebnis.

Für die Bewertung der Feuchterelevanz einer Luft-Leckage wird der Wandaufbau entsprechend des Materialschichtenaufbaus in Knoten diskretisiert - Abbildung 18. In jedem Knoten ergibt sich die Zu- bzw. Abnahme des Wassergehalts aus der Bilanz der durch Luftdurchströmung, Dampfdiffusion und flüssigen Kapillartransportes zu- bzw. abgeführten Wassermenge. Energetisch wird der Knoten so modelliert, dass zuströmendes Wasser vollständig kondensiert während abströmendes Wasser vollständig verdampft werden muss. Die Enthalpiedifferenz dieser zwei Vorgänge zusammen mit der Bilanz der zu- und abströmenden Wärme resultiert in einer

Temperaturänderung des Knotens. Das Wandmodell wird an den Oberflächen mit einem Raum- bzw. einem Außenwettermodell gekoppelt [14,15].

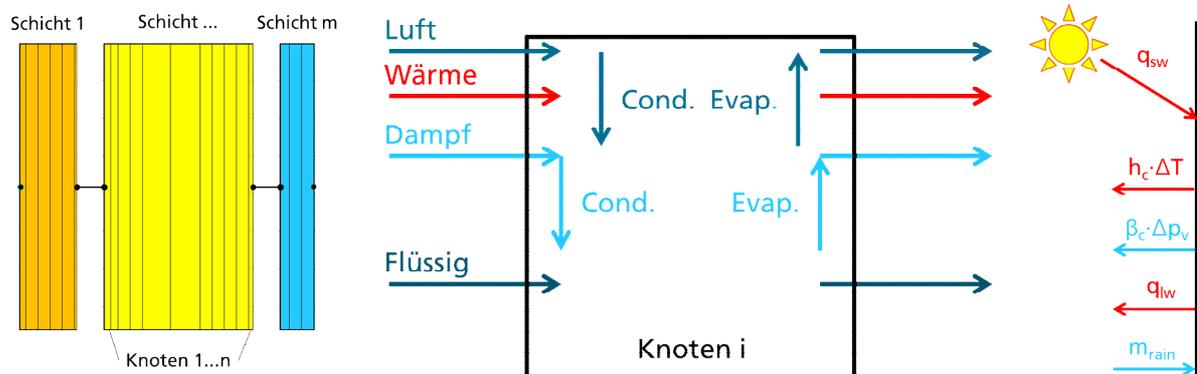


Abbildung 18: Grundlegender Aufbau der hygrothermischen Wandsimulation. Links: Unterteilung der Wand in Materialschichten, Mitte: Energetische und Massenbilanzierung eines Wandknotens, Rechts: Wetterrandbedingung an der Außenoberfläche.

#### 4. Literaturverzeichnis

- [1] Hauser, G., Maas, A. (1991). Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmschichten. In: Tagungsband Aachener Bausachverständigentage 1991, Aachen, 88-95.
- [2] Geißler, A., Hauser, G. (2002): Abschätzung des Risikopotentials infolge konvektiven Feuchtetransports. Abschlußbericht AIF-Forschungsvorhaben Nr. 12764.
- [3] Borsch-Laaks, R. (2006): Risiko Dampfkonvektion. Wann gibt es wirklich Schäden? In: HOLZBAU Die Neue Quadriga, Heft 3, 17 ff.
- [4] Kropf, F., Michel, D., Sell, J., Zumoberhaus, M., Hartmann, P. (1989): Luftdurchlässigkeit von Gebäudehüllen im Holzhausbau. Bericht Nr. 218, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf, Schweiz.
- [5] Zeller, J., Dorschky, S., Borsch-Laaks, R., Feist, W. (1995). Luftdichtigkeit von Gebäuden. Luftdurchlässigkeitsmessungen mit der Blower Door in Niedrigenergiehäusern und anderen Gebäuden. Erste Auflage. Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt.
- [6] Gösele, K., Schüle, W., Künzel, H. (1997). Schall, Wärme, Feuchte. Grundlagen, neue Erkenntnisse und Ausführungshinweise für den Hochbau. 10. Auflage. Wiesbaden-Berlin: Bauverlag.
- [7] Bischof, W. (2012). Luftqualität und Luftdichtheit von Gebäuden. In: Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V., Hrsg. Gebäude-Luftdichtheit. Band 1. Zweite, aktualisierte Auflage. Berlin: Selbstverlag, 19-27.

- [8] FLiB (2015). Leckagebewertung. Abschlussbericht zum FLiB-Workshop am 17./18. April 2013 in Fulda. Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e.V., Hrsg., Berlin.
- [9] DIN EN 13829 (2001). Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden. Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden. Differenzdruckverfahren (ISO 9972: 1996, modifiziert), Deutsche Fassung EN 13829: 2000.
- [10] Zöller, M. (2015): Bewertung von Fehlstellen in Luftdichtheitsebenen - Handlungsempfehlung für Baupraktiker. Projektvorstellung im Rahmen des Tätigkeitsberichts anlässlich der 41. Aachener Bausachverständigentage.
- [11] Vogel, K. (2015): Fehlstellen in Luftdichtheitsebenen – „Ganzheitlicher“ Forschungsansatz für die Baupraxis. In: Tagungsunterlagen 9. Internationales BUILDAIR-Symposium in Kassel.
- [12] Vogel, K. (2015): Leckagebewertung – ein Forschungsprojekt für die Baupraxis. Energie Kompakt 03/15, 22-23.
- [13] Norrefeldt, V., Grün, G., Sedlbauer, K. (2015): VEPZO – Velocity propagating zonal model for the estimation of the airflow pattern and temperature distribution in a confined space, Building and Environment, Vol. 48, 183-194.
- [14] Noudui T. (2008): Entwicklung einer objektorientierten Modellbibliothek zur Ermittlung und Optimierung des hygrothermischen und hygienischen Komforts in Räumen, Dissertation an der Universität Stuttgart.
- [15] Norrefeldt, V., Andersson, D., Pathak, A., Tummescheit, H. (2012): The Indoor Climate Library and its Application to Heat and Moisture Transfer in a Vehicle Cabin, 9. Modelica Konferenz in München.